

JP-A-11-219680

(A)

[Claims]

[Claim 1] A method of focused ion beam working which employs an ion source, a focusing system for focusing ions released from the ion source and applying a focused ion beam onto a sample, a deflecting system for scanning the sample with the focused ion beam (FIB) in a two-dimensional way (x-y), a secondary charged particle detector for detecting secondary charged particles released from the surface of the sample exposed to the focused ion beam, a computer image memory in which a signal from the secondary charged particle detector is stored after its A/D conversion together with an FIB scanning signal and a display for making an X-Y display of an image of the sample surface, and includes specifying a work area in accordance with the image of the sample surface on the screen and based on a work area setting mark and limiting FIB scanning to that area for performing local working in any specified position as desired, characterized in that the image of the sample surface on the display which is used to set the work area is variable in its magnification ratio in the X and Y directions.

[Claim 2] A method of focused ion beam working which employs an ion source, a focusing system for focusing ions released from the ion source and applying a focused ion beam onto a sample, a deflecting system for scanning the sample with the focused

ion beam (FIB) in a two-dimensional way (x-y), a secondary charged particle detector for detecting secondary charged particles released from the surface of the sample exposed to the focused ion beam, a computer image memory in which a signal from the secondary charged particle detector is stored after its A/D conversion together with an FIB deflecting control and a display for making an X-Y display of an image of the sample surface, and includes specifying a work area in accordance with the image of the sample surface on the screen and based on a work area setting mark and limiting FIB scanning to that area for performing local working in any specified position as desired, characterized in that the image on the display is displayed by two or four split images (of the same magnification) framed and permitting scrolling and the split images are used to set the work area.

(B)

[0002]

[Prior Art] Prior art of FIB working is described in JP-A-5-15981. It shows a case in which a device has a cross section formed by FIB. The steps are as stated below.

[0003] (1) An area on a device surface including a place sought to be worked in cross section is scanned with an FIB in a two-dimensional way (x-y), charged particles (secondary particles, etc.) released therefrom are detected, so that an

image of the sample surface through a scanning ion microscope (abbreviated as SIM) may be obtained, recorded and shown on a display.

[0004] (2) A work area is set on the basis of the SIM image. When, for example, a semiconductor device has its cross section worked at a contact hole, the contact hole provides as a work area setting mark and a rectangular rough work area is set manually based on the mark.

[0005] (3) A high-current FIB having a current of 2 to 5  $\mu\text{A}$  is selected for the FIB scanning of the area for its rough working. A cross section is formed on the sidewall of a rectangular hole.

[0006] (4) A low-current FIB having a current of about 400 pA is selected to obtain another SIM image.

(C)

[0024] The "Split SIM Image Method" as the second means makes it possible to set a higher image magnifying ratio than that of an SIM image including all of a plurality of angular points defining a work mark and a work area, since a plurality of angular points defining a work mark and a work area for which a rectangle can, for example, be used analogously are included in two or four split SIM images.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-219680

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月10日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 J 37/317  
37/22  
37/31

識別記号

5 0 2

F I

H 0 1 J 37/317  
37/22  
37/31

D

5 0 2 C

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-21735

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月3日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 石谷 亨

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株  
式会社日立製作所計測器事業部内

(72) 発明者 大西 毅

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株  
式会社日立製作所計測器事業部内

(72) 発明者 岩田 浩二

茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株  
式会社日立製作所計測器事業部内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

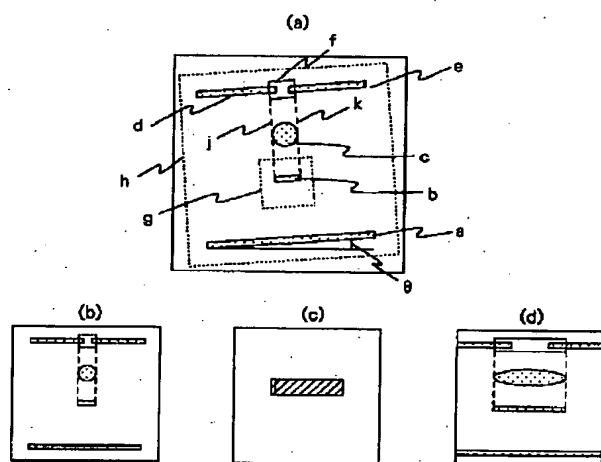
(54) 【発明の名称】 集束イオンビーム加工方法

(57) 【要約】

【課題】 加工領域設定用マークと加工領域が高倍率のSIM像視野に入らない場合でも、実効的に高倍率のSIM像を作成し、加工領域設定の位置精度を高くして高精度のFIB加工を行う方法を提供することにある。

【解決手段】 SIM像の倍率を実効的に高倍率化するには、加工マークと加工領域とがSIM像のXあるいはY方向に並ぶようにビームの走査方向を回転し、かつディスプレイ上の画像のXおよびY方向の像表示倍率比を変えて加工マークと加工領域が同一視野のSIM像枠内に一杯に入るようにする。

図 1



ある。他方、MRヘッドは、リード導体14、15の厚みは通常100nm程度まで薄くされており、またリード導体14、15の端部14a、15aにはテーパがついているため、再生トラックAの位置を正確に把握するには、SIM像の倍率をかなり高くしなければならない。

【0014】以上の理由により、従来のFIB加工方法では記録再生分離型磁気ヘッドにおいて再生トラックの位置を正確に把握して記録トラックの幅を狭める加工を行うことが極めて困難である。この困難さは、再生ヘッド部の高記録密度化を推し進めるほど顕著となる。例えば、再生トラック幅を1μm前後まで狭めると、約0.1μmの位置決め精度で記録トラックを加工する必要があるが、従来のFIB加工方法ではこの位置合せ精度はほとんど得られない。

【0015】先述の特開平5-143929号公報は、上記の記録再生分離型磁気ヘッドにおいて、加工領域設定用マークである再生トラックとは別に、その位置を示す媒体摺動面側から同一視野のSIM像で観察可能な別マークを加工領域のある再生ヘッド部に設けることを特徴とした発明である。この発明は別マークを新たに追加するものであり、例えばこの別マークを製造プロセスの中で作りこむ場合には、プロセスが従来より複雑になりコストアップの要因になるという欠点がある。

【0016】本技術に関連したもう一つの公開特許に特開平5-198282号公報がある。加工領域が大きい場合、この加工領域を含む試料表面像を1枚のSIM像視野に含めるために低倍率にしたSIM像では、既述したようにそのSIM像分解能以上の精度で加工領域の位置決めができない。

【0017】この公開特許は、倍率が高低異なる複数枚のSIM像を連動させてディスプレイに表示し、加工領域の設定には高倍のSIM像を用いて設定位置精度を高めることを特徴とした発明である。この発明では、高位置精度で加工領域の設定はできるが、倍率の高低異なる複数枚のSIM像を連動させてディスプレイに表示するため、その制御ソフトが大規模となり、表示応答が遅いという欠点がある。

【0018】本発明の課題は、加工領域設定用マークとXとY方向の何れか一方の加工位置精度が高く要求されている加工領域とが離れているために両者が高倍率のSIM像視野(ただし、XとY方向の倍率比mは1)に入らない場合にも、要求されている高い加工位置精度を満足するFIB加工方法を提供することにある。ただし、マークに合わせた加工領域の設定はSIM像上での目視設定であり、またSIM像の処理応答はできるだけ速くし、実使用に耐えるものとする。

【0019】

【課題を解決するための手段】加工位置精度を高くするには、画像を構成する画素(ピクセル)数をできるだけ多

く取ることであるが、画像処理時間が長くなる。よって、上記課題を解決するための手段は、SIM像のピクセル数をある程度に限定し、かつ加工マークや矩形などで近似できる加工領域を規定する複数個の角点などを含むSIM像において、高い加工位置精度が要求されている方向のSIM像倍率をできるだけ高倍率化することである。その具体的手段は2つあり、以下これらをSIM像の「XY倍率比可変法」と「SIM像分割法」と呼ぶ。

【0020】まず第一のSIM像の「XY倍率比可変法」は、加工マークと加工領域とがSIM像のXあるいはY方向に並ぶようにビームの走査方向を回転し、かつ前記ディスプレイ上の画像のXおよびY方向の像表示倍率を独立に変えて加工マークと加工領域が同一視野のSIM像枠内に一杯に入るようにすることである。これにより像倍率が高められたXあるいはY方向での加工領域の設定位置精度があげられる。

【0021】第二の「SIM像分割法」は、加工領域の設定下地となるSIM像の画像枠を同一倍率の2枚あるいは4枚に分割し、これらの分割枠に加工マークや矩形などで近似できる加工領域を規定する複数個の角点の一部を含む高倍率のSIM像を表示し、加工領域を設定するのである。分割画像はXYスクロールが可能で、これにより加工マークや矩形などで近似できる加工領域を規定する複数個の角点の全てを観ることができ、加工領域が高精度に位置設定できる。

【0022】即ち、加工領域はディスプレイ上に表示したSIM像を用いて設定される。例えばこのSIM像は512×512画素で校正され、FIB径dは0.1μm、試料上のFIBのX-Y走査範囲Lは51.2μm×51.2μm矩形とすると、1画素の試料上での大きさΔPはちょうど0.1μm角に対応する。加工領域の設定位置精度ΔSは、簡単化のため、dとΔPとの大きい方で決まるとする。X-Y走査倍率が従来のように同じであればdのXおよびY方向成分であるdxおよびdyの両者は等しい。

【0023】本発明の第一手段の「SIM像倍率XY独立可変法」においては、Y方向のみの倍率を例えば1/4に下げると、 $Ly = 409.6\mu m$ 、 $\Delta Py = 0.4\mu m$ となり、 $\Delta Sy = 0.4\mu m$ となる。ただし、 $\Delta Sx$ は0.1μmが維持できている。こうして、加工マークと加工領域がY方向に最大409.6μm離れていても $\Delta Sx = 0.1\mu m$ を維持したまま加工ができるようになる。ただし、 $\Delta Sy = 0.4\mu m$ である。従来法ではXY同一倍率にするため、 $\Delta Sx = \Delta Sy = 0.4\mu m$ と大きい。

【0024】一方、第二手段の「SIM像分割法」においては、加工マークや矩形などで近似できる加工領域を規定する複数個の角点を2枚あるいは4枚の分割SIM像に取り込むためその像倍率は、加工マークや加工領域

C

、SIM像信号データから内挿あるいは外挿法により計算し、その結果を画像メモリ2に入れ、かつこれをディスプレイ上に像表示する。ただし、 $m$ や $\theta$ が大きく、 $xy$ 換算座標値が画像メモリ1の $xy$ 座標領域を大きく外れる場合は、再度、 $xy$ 換算座標値でピクセル数 $512 \times 512$ のFIB走査して画像取得し、その結果を画像メモリ1と2に入れる必要がある。

【0037】このSIM像の再取得時間は、ピクセル数にはほぼ比例するので、最初のピクセル数 $4096 \times 4096$ の場合より約 $1/64$ 倍短時間で取得できる。今後、 $m$ や $\theta$ をわずかしき変えない場合のSIM像表示には、このピクセル数 $512 \times 512$ のメモリ1のSIM像信号データを用いて再変換して表示すればよく、FIBを再走査する必要はない。これによりFIB走査による試料損傷が大幅に軽減できる。

【0038】以上の順序での加工領域の設定により、加工マークパターンbから遠く離れた加工領域fのX軸方向の位置はY軸方向より4倍高精度に設定でき、高精度のFIB加工することができた。

【0039】次に、第二手段の「SIM像分割法」の実施例を図2を用いて述べる。図2(a)は図1(a)と同じ試料を用いての最大SIM像枠と全体SIM像、図2(b)および(c)はそれぞれその2分割および4分割像枠と分割SIM像である。ここで、分割像の像倍率は全体像の4倍に取ってある。図2(b)の2分割像枠において最下段のXスクロールqは上下の2枚SIM像を連動して動かすものである。同様に図4(c)の4分割像枠において右端の上下2つのYスクロール $r_1$ 、 $r_2$ はそれぞれ左右の2枚SIM像を連動させて動かすものである。

【0040】また、これらの分割画像枠の境界線をマウスでドラッグすることにより境界線も上下、左右に移動することができる。本実施例では、最初の全体SIM像を $4096 \times 4096$ のピクセル数で画像メモリに記録し、画像メモリの $4096 \times 4096$ 領域内の特定部位の $512 \times 512$ 領域の画像データを4分割像枠の1つの画像枠に表示した。

【0041】このSIM像倍率が全体SIM像の8倍であるならば、同じ枠内に $256 \times 256$ 領域の画像データで表示すれば16倍SIM像となる。加工領域fと加工マークパターンbがY軸に平行になっていない場合は平行になるように画像メモリからディスプレイ上のSIM像枠に表示する時に回転ずれ補正を行って表示する。

【0042】これにより、加工領域のX方向両端位置が高精度に設定できる。ただし、この補正回転角が大きくなると、SIM像を再取得する場合は、最初の場合と同様にピクセル数 $4096 \times 4096$ に対応したFIB走査をする必要があり、第一手段のSIM像の「XY倍率比可変法」の再取得の場合のピクセル数 $512 \times 512$ より64倍多く、時間も約64倍長くなる。

【0043】図4は本発明のFIBカラムの構成図である。液体金属イオン源100から放出したイオンはコンデンサーレンズ101と対物レンズ106によりFIB90とされ、試料91上に照射される。ビーム加速電圧は30kVである。レンズ間には可変アパーチャー102、アライナー/スティグマー103、ブランカー104、デフレクター105が配置されている。

【0044】可変アパーチャー102、ブランカー104およびデフレクター105には、それぞれ絞り駆動部102a、ブランキングアンプ104aおよび偏向制御部105aが付設されている。試料91はステージ108により移動できる。ステージはx、y、z、チルト、回転の5軸方向に制御される。

【0045】FIB照射により、試料91から発生した二次電子は、二次電子検出器109により検出される。二次電子検出器109からの二次電子信号をA/D変換し、FIBの偏向制御と同期してコンピュータ110の画像メモリに取り込むことによりディスプレイ(CRT)110a上にSIM像が表示できる。

【0046】このSIM像を下地として加工領域を指定し、その部分のみを限定してFIB走査することにより所望位置での局所加工ができる。特に、本発明で重要な回転ずれ補正、FIBの走査基準信号に対する試料上でのxおよびy方向のビーム走査倍率の独立設定、およびSIM像のXおよびY方向の設定倍率比に基づいたSIM像表示などの制御はコンピュータ110で、また回転ずれ補正やビーム走査倍率を考慮しての偏向電圧の設定は偏向制御部105aで行われる。

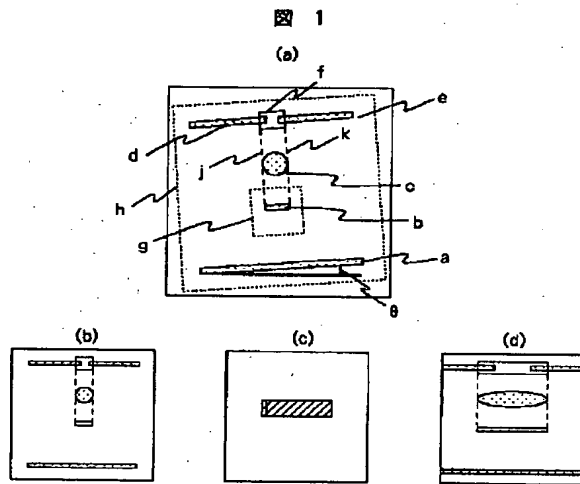
【0047】また、FIB誘起デガ膜形成用のガス源107から発生した金属を含むガス(例えばW(CO)<sub>6</sub>ガス)はガスノズル92によりFIB1の試料照射部の近傍に導かれる。ガス源107はガス源制御部107aにより制御される。上記コンピュータ110は、システムバス111を介して可変アパーチャー102の絞り駆動、ブランカー104によるFIB照射のオンオフ、デフレクター105によるFIB偏向走査、二次電子検出器109からの信号検出、ステージ108の移動、およびガスの供給などの各制御を行う。

【0048】最後に、本発明で採用した第1手法「SIM像倍率XY独立可変法」と第2手法「SIM像分割法」の特徴を比較表1にて示す。

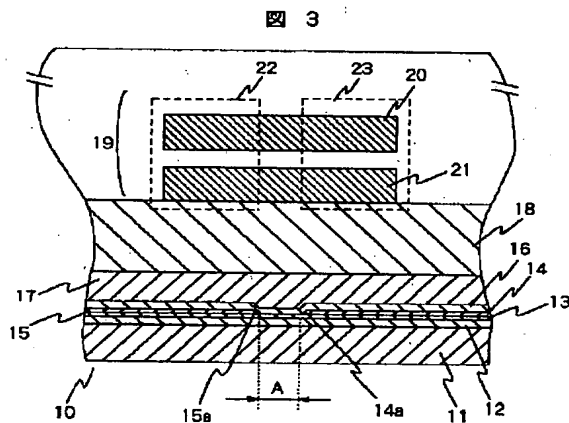
【0049】

【表1】

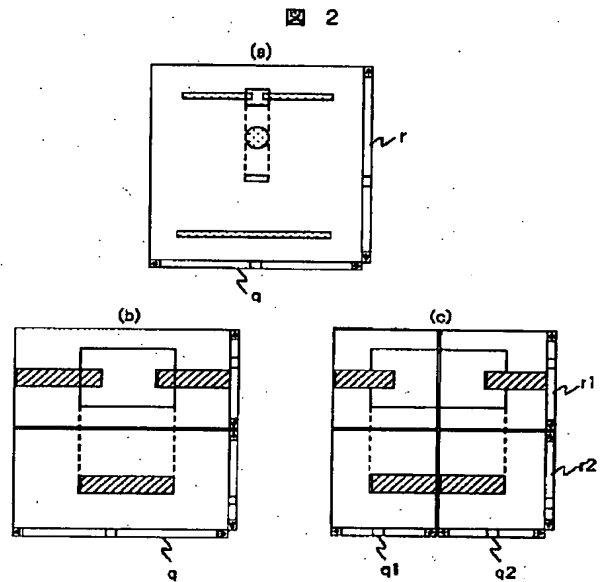
【図1】



【図3】



【図2】



【図4】

